

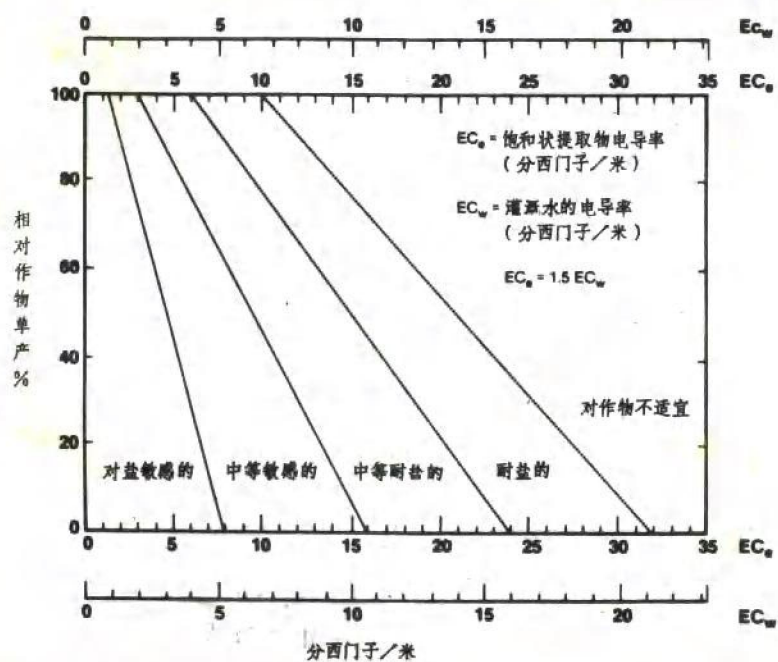
农用水质

粮农组织

排灌文集

29

(第一次修订版)



中国
农业科技出版社
北京 1988



联合国
粮食及农业组织

农用水质

粮农组织

排灌文集

29

(第一次修订版)

ND22/38

作者: R. S. 艾尔斯

(美国加利福尼亚州, 加利福尼亚大学水土名誉专家)

D. W. 韦斯科特

(美国加利福尼亚州, 地区水质管理委员会水土资源高级专家)



中 国
农业科技出版社
北京 1988

中国农业科学院科技文献信息中心

根据其同

联合国粮食及农业组织

的协议出版



联 合 国
粮食及农业组织

农 用 水 质

责任编辑 段道怀

中国农业科技出版社出版（北京市海淀区白石桥路30号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国农业科学院科技文献信息中心印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：12 字数：252千字

1988年8月第一版 1988年8月第一次印刷

印数：1—3000册 定价：4.70元

ISBN 7—80026—107—7/S·76

本书原版为联合国粮农组织的排灌文集 (29)《农用水质》(FAO Irrigation and drainage paper No. 29 Rev. 1, Water quality for agriculture, M-56 ISBN 92-5-102263-1, 1985)。

本书中所用名称及材料的编写方式并不意味着联合国粮农组织对于任何国家、领地、城市或地区或其当局的法律地位或对于其边界的划分表示任何意见。使用“发达经济”和“发展中经济”这两个词是出于统计上的方便，并不是对某个国家或地区在发展过程中已达到的发展阶段作出的判断。

CPP/87/6

ISBN 7-80026-107-7/S·76

版权所有。未经版权所有者事前许可，不得以电子、机械、照相复制等任何方法或其他程序全部或部分翻印本书，或将其存入检索体系，或发送他人。申请这种许可应写信给联合国粮农组织出版司司长（意大利罗马 Via delle Terme di Caracalla, 00100）并说明希望翻印的目的和份数。

前 言

《农用水质》作为排灌文集 29 于 1976 年第一次出版。虽然对于盐浓度的控制和处理劣质水的许多基本概念仍然未变,但新的资料和经验促使我们修改 1976 年出版的论文,以便让使用者知道最新的情况。

本文集的意图是为评定灌溉水的适用性而提供实用的指标。其内容包括为了最大限度地利用现有的或可能的供水而提出的建议,这些指标是根据在使用中与下列有关因素来判断水可能存在的问题,这些因素是:①盐浓度,②水对土壤的渗透率,③特殊离子的毒性④其他因素的影响。针对这些可能存在的问题,而进行讨论和给出实例,并提出了各种可能的管理办法。

本文集目的是为农场和工程管理人员、顾问和工程师在评价和鉴定水质问题的时候提供指导。它讨论了在水的利用中可能存在的限制因素,并提出不同的管理方法以期有助于农场或工程项目的管理、规划和经营。这些指标和文中是以全世界许多农业地区(大部分是干旱和半干旱地区)所报道的经验为根据的。大量的资料来自美国西部的农业地区,因此,把这些指标应用到具体地方的条件时,应当谨慎并采取实事求是的态度。这些指标能指出在水的利用中所存在的潜在问题和可能的限制因素,但是,对于一种特定的水来说,其真正的适用性要决定于具体的使用条件以及使用者的管理能力。把水质的影响与影响作物产量的其他因素综合起来考虑,这些指标将是具有参考价值的,其最终的目标是利用每单位供水量以获得最大的产量。

讨论的立足点是认为盐浓度能使作物对土壤水分吸收利用降低。关于植物在其根区内对盐浓度的反应的最新研究结果被编入指标中以提高其预测能力。本文也编入了关于作物耐盐性的最新数值。本文还提供了一种方法,即根据供水的质量计算作物的淋洗需水量。如果采用了按照这种办法计算的数值,与大多数较老的办法相比,具有明显的节水效果。

因水质而引起水的渗透问题通常是同水的盐浓度和含钠量两者相联系的。本文提供了一种方法,根据水的盐浓度(EC_w)和钠吸收率(SAR)两者来评定水引起渗透问题的可能性。

本文就硼、钠或氯化物的浓度和它们对敏感作物产量的影响讨论了特殊离子的毒性问题。其他较少遇到的问题作为其他问题加以讨论。本文还提供了一些表格表明灌溉水中微量元素的最高浓度和牲畜饮水中的毒性物质的最大含量的建议值。

致 谢

本文集中的这些指标是在美国西部地区农业灌溉中以前所编制和使用的各种指标的基础上提出的。这个版本是按照美国加利福尼亚大学教职员所使用的版本编排的。美国盐渍土实验室已发展或提出了含盐水的使用和管理的许多基本资料 and 概念，对于他们的帮助本文作者表示衷心的感谢，特别是对 G.J. Hoffman, E.V. Maas, J.D. Rhoades, D.L. Suarez, 等诸位博士和实验室主任 J. van Schilfgaarde。

R.L. Branson 和 J.D. Oster 两位博士（加利福尼亚大学），J. Van Hoorn 博士（瓦赫宁根），J.D. Doorenbos 先生（荷兰农业部）和粮农组织土地及水利开发处的工作人员所提供的建议和初稿审查特别有帮助。也应对 Chrissi Smith-Redfern, Hazel Tonkin, Charlene Arora 和 Mary Westcot 诸位先生表示谢意。

谨以本文献给必须对于灌溉水的有效使用作出决定的实地工作人员。本文试图解决和防止田间用水质量上的问题。最终目标是利用可能得到的供水获得最大的粮食产量。

注 释：

在本论文中使用了一些符号例如 EC_{dw} ，由于机械上的原因，这些符号打在同一水平线上。然而，这些符号在公式中是以正确的形式出现的，例如， EC_{dw} 。因为此处打字具有较大的灵活性。

目 录

	页 次
前 言	III
致 谢	IV
第一章 水质评定	1
1.1 引 言	1
1.2 水质问题	2
1.2.1 盐浓度	3
1.2.2 水的渗透率	4
1.2.3 毒 性	4
1.2.4 其他的问题	5
1.3 评定水质的方法	5
1.4 水质指标	6
第二章 盐浓度问题	13
2.1 引 言	13
2.2 土壤盐浓度的积聚	13
2.3 盐浓度对作物的影响	15
2.4 盐浓度问题的管理	21
2.4.1 排 水	21
2.4.2 用淋洗控制盐浓度	23
2.4.3 作物的耐盐性	29
2.4.4 栽培措施	41
2.4.5 改变灌溉方法	46
2.4.6 为控制盐浓度而进行的土地改良	51
2.4.7 改变供水或混合供水	55
第三章 渗透问题	57
3.1 渗透问题	57
3.1.1 渗透问题的评定	57

3 . 2	渗透问题的管理	63
3 . 2 . 1	土壤和水的改良剂	63
3 . 2 . 2	混合供水	68
3 . 2 . 3	中耕和深耕	71
3 . 2 . 4	有机质残余	72
3 . 2 . 5	灌溉管理	72
第四章	毒性问题	75
4 . 1	特殊离子及其影响	75
4 . 1 . 1	氯	75
4 . 1 . 2	钠	77
4 . 1 . 3	硼	79
4 . 2	毒性问题的管理	81
4 . 2 . 1	淋 洗	82
4 . 2 . 2	作物的选择	84
4 . 2 . 3	栽培措施	84
4 . 2 . 4	混合供水	85
4 . 3	喷灌引起的毒性效应	85
第五章	其他的问题	89
5 . 1	过量的氮	89
5 . 2	异常的 PH 值	90
5 . 3	水垢沉积	91
5 . 4	镁的问题	92
5 . 5	微量元素及其毒性	93
5 . 5 . 1	水中天然存在的微量元素	93
5 . 5 . 2	毒 性	93
5 . 5 . 3	评定标准	95
5 . 6	营养与水质	95
5 . 6 . 1	营养与盐浓度	95
5 . 6 . 2	水的渗透问题与营养	96

8·12	把劣质水用于灌溉——阿拉伯联合酋长国	128
8·13	灌溉水质——非洲乍得湖	129
8·14	河流水质的变化——埃塞俄比亚和索马里	130
8·15	地下水水质的降低——约旦都莱尔河 (Wadi Dhuleil, Jordan)	131
8·16	地表水水质的降低——阿拉伯也门共和国	132
8·17	灌溉供水中的沉淀物——埃塞俄比亚	132
8·18	牲畜饮用水中高含量的氟化物——美国新墨西哥	133
8·19	劣质地下水供牲畜饮用——美国新墨西哥	135
8·20	使用处理废水的弗雷斯诺 (Fresno) 灌溉系统——美国加利福尼亚州	137
8·21	处理废水在农业上的应用——联邦德国不伦瑞克 (Braunschweig)	138
8·22	废水灌溉——美国加利福尼亚州贝克斯菲尔德 (Bakersfield)	140
8·23	废水灌溉——美国加利福尼亚州图奥卢米 (Tuolumne) 地区的给水 管理区	141
8·24	利用废水灌溉——美国加利福尼亚州圣劳莎 (Santa Rosa)	142
8·25	含硼量高的废水之利用——美国加利福尼亚卡利斯托加 (Calistoga)	142
附录一	选自世界各地的250种灌溉供水的水质分析	145
附录二	术语汇编	159
参考文献		163

表格目录

页 次

1. 说明灌溉水质的指标	8
2. 评定普通灌溉水质问题所需要的实验室测定	10
3. 根据灌溉水盐浓度 (EC_w) 和淋洗分数 (LF) 预测土壤盐浓度 (EC_e) 的浓度因数 (X)	18
4. 在灌溉水盐浓度 (EC_w) 或土壤盐浓度 (EC_e) 的影响之下作物的耐盐性和某些作物的产量潜力	30
5. 农作物的相对耐盐性	33
6. 关于供水对于葡萄的适用性的实验室数据指标	39
7. 各种作物在发芽时的相对耐盐性	40
8. 在以色列用不同水质的水喷灌作物时, 播种率对出苗的影响	43
9. 肥料物质对土壤溶液的相对影响	47
10. 渠水和井水混合后的水质	55
11. 用已知 HCO_3/Ca 比值和 EC_w 值的水灌溉后, 预期在近地表的土壤水中留存的钙浓度 (Ca_x)	61
12. 水和土壤改良剂及它们在供钙中的相对效果	68
13. 化学肥料的普通成份及当量酸度或碱度	69
14. 某些水果作物品种和砧木对氯的耐受性	76
15. 某些作物对可交换钠的相对耐受性	78
16. 农作物对硼的相对耐受性	80
17. 按照硼的积聚量和向叶子的输送量递增顺序而列出的柑桔类和核果砧木	81
18. 某些作物对于因使用含盐水喷灌所引起的叶损伤的相对耐受性	86
19. 美国加利福尼亚州英皮里尔流域 (Imperial Valley) 用三种灌水率进行喷灌的苜蓿叶子灼伤的情况	87
20. 按烘干重量百分比计算棉花叶子的含钠量	87
21. 灌溉水中微量元素最大浓度的推荐值	94
22. 灌溉水质与造成滴灌系统堵塞的物理、化学和生物因素	98
23. 滴灌系统的设计和使用所需要的标准水质试验	99
24. 水质对滴灌系统产生堵塞问题的可能性的影响	99
25. PHC 的计算方法	101
26. 控制微生物生长的氯的剂量	102
27. 评价水和土壤对混凝土的侵蚀性所用的极限值	104
28. 牲畜和家禽饮水的水质指南	110
29. 牲畜饮水中镁的限量推荐值	110
30. 牲畜饮水中有害物质含量的指标	112
31. 农用再生水的使用管理现行标准	116
32. 世界卫生组织为废水再利用所建议的处理程序	117
33. 萨福德 Safford 试验站某些作物的产量与农场平均产量的比较	125

34. 红山 (Red Mountain) 农场的皮棉产量 (公斤/公顷)	125
35. 突尼斯阿鲁西亚迈杰尔达河 (Medjerda River at El Aroussia) 的盐浓度 (月平均数 0.1 ds/m)	127
36. 灌溉方法对西红柿产量的影响	128
37. 灌溉方法对柠檬树叶子的钠和氯浓度的影响	129
38. 美国新墨西哥某些地区三口供水井的微量元素浓度	134
39. 井水中的氟化物 (毫克/升)	135
40. 牛饮用水水源中的盐分和微量元素的含量	136
41. 阿瓜内格拉 (Agua Negra) 畜牧场的水分析 (毫克/升)	137
42. 弗雷斯诺市 (Fresno) 市政废水中的微量元素浓度	138
43. 在不伦瑞克 (Braunschweig) 及其周围使用处理废水的地区的水质	139
44. 图奥卢末地区的给水管理区 (Tuolumne Regional Water District) 废水中 微量元素的浓度	141
45. 圣劳莎市 (the City of Santa Rosa) 废水中微量元素和营养物的含量	143

附图目录

1. 测定灌溉水的 SAR 值和估算与水处于平衡状态的土壤的应用 ESP 值的诺谟图	11
2. 在各种不同的淋洗分数 (LF) 的情况下长期使用 $EC_w = 1.0 \text{ dS/m}$ 的水之后, 预计会得出的盐浓度剖面图	18
3. 在不同程度的土壤盐浓度 (EC_e) 时, 粘壤土土壤的持水曲线	20
4. 由于蒸腾作用 ET 消耗了土壤贮存水, 在苜蓿灌溉间隔期间土壤水盐浓度 (EC_{sw}) 的变化	20
5. 高水位的盐浓度剖面图	22
6. 毛细管的水流速度与地下水位深度间的关系	22
7. 在各种不同淋洗分数时, 灌溉供水的盐浓度 (EC_w) 对根区土壤盐浓度 (EC_e) 的影响	24
8. 在 150 毫米降雨前和降雨后, 沙壤土的土壤盐浓度 (EC_e)	27
9. 柑桔栽种中在灌溉季节结束和冬季降雨后土壤盐浓度 (EC_e) 剖面图	27
10. 农作物相对耐盐性等级的划分	35
11. 确定最大 EC_e 的方法	38
12. 平顶苗床和灌溉措施	44
13. 用斜面苗床控制盐度	44
14. 斜面苗床	45
15. 控制盐浓度和温度所用的斜面苗床	45
16. 苗床外形和盐浓度的影响	45
17. 采用(a)地表漫灌, (b)沟灌, (c)畦灌和滴灌等方法时盐分积聚的方式	48
18. 使用两种质量的灌溉水和三种灌溉方法时作物行上和沟中土壤的盐浓度和柿子椒产量	51
19. 用连续蓄水改良含盐土壤时, 每单位土壤深度所需的淋洗水深度	54
20. 用间歇性蓄水改良含盐土壤时, 每单位土壤深度所需的淋洗水深度	54
21. 受盐浓度和钠吸收率影响的水的相对渗透率	58
22. 为改良高硼土壤每单位土壤深度所需的淋洗水深度	83
23. 用废水灌溉 50 年之后, 土壤剖面重金属的含量情况	93
24. 在美国加利福尼亚州萨克拉门托圣华金三角洲 (Sacramento-San Joaquin Delta) 的有机质腐殖土上采用地下灌溉时, 灌溉供水的盐浓度 (EC_w) 对土壤水盐浓度 (EC_e) 的浓度因数	120
25. 从 1967 年 2 月 26 日至 4 月 10 日乍得湖水的电导率	130

实 例 表 目 录

	页次
1. 计算根区底部深层渗漏的浓度	14
2. 根区平均盐浓度之测定	16
3. 淋洗需水量计算	26
4. 确定产量潜力	37
5. 混合灌溉水灌溉玉米	56
6. 计算水中的钠危害性的方法之比较	62
7. 用石膏作为一种改良剂	65
8. 使用混合灌溉水以减少劣质供水的钠吸附率	70

1.1 引言

灌溉农业决定于充分供应水质合乎要求的水。水质的影响经常被忽视，这是因为质量好的供水一直是充足的，而且很容易得到。这种情况目前在许多地区正在发生变化。几乎所有质量好的供水都被强化使用，这意味着新的灌溉工程和正在寻找新的或补充供水的老工程必须依靠质量较差和不那么理想的水源。为了避免使用这些劣质水时而产生问题，必须有一个健全的规划以保证质量好的供水达到最好的利用。

本文的目的是帮助读者更好地了解水质对土壤和作物的影响并帮助选择适宜的方法来处理与水质有关的潜在问题，而这些潜在的问题在普遍的使用条件下是会造成减产的。

从概念上说，水质指的是供水的特性，该特性将影响其对于一种特定用途的适宜性，也就是说，水的质量对于使用者的需要能满足到什么程度。水质是由某些物理的、化学的和生物的特性决定的。甚至某种个人的偏爱如水的味道也是一种简单的评价其适宜性的方法。例如，如果有两种质量同样好的饮用水，人们可能更偏爱其中一种供水味道较好的水，而不太喜欢另一种水。在评价灌溉水时应着重水的化学和物理特性，任何其他因素则很少被认为是重要的。

各种特定用途对水有不同的质量要求，如果一种供水比另一种供水产生的结果较好或者出现的问题较少的话，那么，这种供水就被认为是质量较好而更能被人们所接受。例如，质量好的河水可以成功地用于灌溉，但由于河水有沉淀物，在未经处理清除沉淀物的情况下，可能不会适用于市政用途。同样地，对于市政用途来说质量极好的溶化雪水，如果未经处理以减少其潜在的腐蚀性，对于工业用途来说其腐蚀性就可能太大了。

理想的情况是有若干种供水，从中作出一种选择，但是，通常只能得到一种供水。在这种情况下，必须对可能得到的供水的质量进行评定，看它对于计划中的用途能适应到何种程度。使用不同质量的水的大部分经验可通过多次观察和水开发利用进行的详细研究而获得。于是，水的成分和所观察到的问题之间的因果关系就成了评定水的质量或其可接受程度的根据。根据已报道过的充足经验和测量的结果，某些水的成分就成了与水的质量问题有关的指标。因此，这些特性就被归纳成关于水的适用性的指标。每一套新的指标都是建立在前一套指标的基础之上以提高其预测能力。许多这样的指标已经能用来判断多种水的使用类型。

对于灌溉农业已经有了许多不同的关于水质的指标。每一种指标都是有用的，但没有一种是完全令人满意的，这是因为田间条件的变易性很大。每一套新的指标都有希望能提高我们的判断能力。本文所提供的各种指标在很大程度上都依靠以前的指标，但是都经过了修改，以便提出更为实用的方法来评价和管理灌溉农业用水的水质问题。它们是对本文在1976年版中所提出的那些方法的最新的修订。对1976年版中所做的改动将在本文中适当的章节里予以讨论。

1.2 水质问题

灌溉用水根据水中所溶解的盐的类型和数量而在质量上会有很大的不同，灌溉水中存在的盐虽然相对数量较少，但却起着重要的作用。盐类起源于岩石和土壤的溶解或风化，其中包括石灰、石膏和其他缓慢溶解的土壤矿物质。这些盐类随着水被带到用水的地方。使用带有盐分的水灌溉，当水分蒸发后，盐留在土壤中或被作物吸收。

灌溉用水的适用程度不仅决定于其含盐量的总量，同时也要看其所含盐分的种类。总含盐量的增加带来了各种各样的土壤和种植问题，这就要求专门的管理措施来保持满意的作物产量。水的质量及其适用程度是按照在其长期使用中能够预计到的潜在问题的严重性而给予评定的。

问题所产生的结果无论在性质上还是在程度上都是不同的，而且随着土壤、气候和作物以及水的使用者的技能和知识而有所变更。其结果是，水质没有规定的界限；更确切地说，水的适用性是由水的成分和可能限制作物产量的使用条件而决定的。最常遇到并且被用来作为评价水质的基础条件的土壤问题是和盐浓度、水的渗透率、毒性和其他一些问题有关。

在灌溉农业中与水质有关的问题

盐浓度（含盐量）

土壤或水中的盐分能降低水对于作物的有效性，甚至于影响产量。

水的渗透率

土壤或水中含钠较高或含钙较低会降低灌溉水进入土壤的渗透率，以至于不能在两次灌溉之间渗入充足的水来供给作物。

特殊离子的毒性

土壤或水中的某些离子（钠、氯化物或硼）在敏感作物中积聚达到的浓度足以引起作物损伤和减产。

其他问题

过量的养分减少作物产量或质量；在水果或叶子上难看的沉积物降低市场的销售；对设备的腐蚀严重增加了维修量。

1.2.1 盐浓度

如果盐分积聚在作物根区达到引起作物减产的浓度,就产生了盐浓度问题。在灌溉地区,这些盐分经常来自含盐的高水位地下水或者来自供水中的盐分。当盐分在根区积聚到一定的程度以致作物不再能够从含盐的土壤溶液中吸收充足的水分,而在重要的时期造成缺水时,产量就会减少。如果水的吸收量下降太多,植物就会减慢其生长率。植物在外观上的症状与干旱的症状相似,例如萎蔫或者变成较深的兰绿色以及有时叶子呈较厚的腊状。症状随着生长期而不同,如盐分在生长的早期影响植物则更值得注意。在某些情况下,由于盐分的影响和缓,整块田中作物的生长速度均匀地下降,可能完全被忽略。

造成盐浓度问题的盐分是可溶于水的,并且容易随水流动。如果在作物生长季节渗入土壤中的灌溉水多于作物所吸收的水,那么,上一次灌溉时所积聚的盐分的一部分能被带到(淋洗)根的深度以下。淋洗对于控制水质的盐浓度问题来说,是至关重要的。在一定的时期内,淋洗所带走的盐分必须等于或超过供水所补充的盐分以便防止盐分聚积达到损伤作物的浓度。淋洗所需的水量取决于灌溉水的质量和作物的耐盐程度。

根区的盐浓度随着根的深度而变化。靠近土壤表层的盐浓度近似于灌溉水的盐浓度,到达根部深度时其盐浓度是供水的盐浓度的许多倍。盐的浓度随着深度而增加,是由于植物吸收水分但把盐分留在容积大大地减少了的土壤水中。每次相继而来的灌溉淋洗盐分越来越深地进入根区并聚积在那里直到被洗去。浅根区内的盐浓度将决定于淋洗的程度。

在灌溉之后,大多数可用水是在根区的上部,即盐浓度低的区域。由于作物用水,根区上部的水被耗尽,随着每次灌溉之间的时间间隔被延长,可获得的水含量最多的区域向更深的方向变化。这些深度靠下的部位通常是含盐最多的。作物对于根部深度内最低和最高的盐浓度并没有反应,而是与水的可获得性密切相关的,并从最容易得到水的地方吸取水分。因此,对于保持土壤水高度的可用性并缓和因为作物必须从根区较深处的可用性较少而盐浓度较高的土壤水中吸取所需要的大部水而产生的问题来说,灌溉时间的选择是重要的。为提高作物产量,使土壤水保持高度的可用性和在盐浓度超过植物的耐盐性之前就淋洗根区聚积的盐分,对此二者必须看成是同等重要的。

当采用地面灌溉方法和普通的灌溉管理时,对作物的灌溉并非经常进行。对于这种并非经常灌溉的作物来说,其产量和根区的平均盐浓度的互相关系最大,但是,对每天或接近每天灌溉(局部灌溉或滴灌)的作物来说,作物产量与由于吸水而增加了的根区盐浓度的关系更大(1982年 Rhoades)。差别虽然不大,但在盐浓度较高的范围内就可能是重要的了。本文以作物对根区平均盐浓度的反应为根据而进行讨论。

在灌溉农业中,许多盐浓度问题与浅地下(在地表以下水位2米内)相联系,或受其很大影响。在这浅水位盐分积聚中,并且常常成为向作物根区补充盐分的重要来源。因此,控制现有的浅